International Science Journal of Engineering & Agriculture
2022; 1(3): 216-228
https://isg-journal.com/international-science-journal-of-engineering-agriculture/
doi: 10.46299/j.isjea.20220103.18
ISSN: 2720-6319

МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТІВ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПОСТАЧАНЬ ШВИДКОПСУВНИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Олег Миколайович Загурський[1], **Світлана Миколаївна Загурська**[2]
[1]Кафедра транспортних технологій та засобів у АПК, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна
[2]Кафедра педагогіки, психології та менеджменту освіти КНЗ КОР «Київський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних кадрів», Біла Церква, Україна
ORCID 0000-0002-5407-8466
ORCID 0000-0002-7109-3350
Електронна адреса: zagurskiy_oleg@ukr.net, zagurskasm@ukr.net

Для цитування цієї статті:
Олег Миколайович Загурський, Світлана Миколаївна Загурська: Моделювання маршрутів транспортно-логістичної системи постачань швидкопсувних харчових продуктів. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 1, No. 3, 2022, pp. 216-228. doi:10.46299/j.isjea.20220103.18.
Надійшла до редакції: 20 липня 2022 р.; **Схвалено:** 29 липня 2022 р.;
Опубліковано: 01 серпня 2022 р.

Анотація. Складність організації транспортно-логістичних систем постачань швидкопсувних харчових продуктів обумовлена, з одного боку, – участю великої кількості ланок у ланцюзі, а з іншого боку, – особливостями швидкопсувних вантажів, а саме: розпорошеність пунктів виробництва швидкопсувних харчових продуктів; сезонність виникнення вантажопотоків; складність узгодження процесів навантаження-вивантаження на взаємодіючих видах транспорту; недетерміноване прибуття рухомого складу до пунктів перевалки; недетермінований режим підвезення вантажів до оптових точок збору; необхідність проходження фітосанітарного та ветеринарного контролю при перетині державних кордоні, тощо. Побудова ефективної моделі транспортно-логістичної системи постачань швидкопсувних харчових продуктів полягає у знаходженні найкращого варіанту її функціонування з безлічі можливих, враховуючи, що: час циклу виконання замовлення за відхиленнями від заявлених замовником термінів і кількість запасів в транспортно-логістичній системі, мають бути мінімально допустимими. Відповідно постає задача поєднання оптимальних логістичних процесів з оптимально необхідною кількістю продуктів, розмір яких визначається поточними потребами клієнтів, тобто в урівноваженні витрат постачання з витратами зберігання. В статті розглянуто проблему побудови ефективного транспортного процесу в ланцюгах постачань

швидкопсувних харчових продуктів. Запропоновано економіко-математичну модель, що дає змогу, задля уникнення пробок і заторів під час руху, визначати час знаходження транспорту в дорозі, мінімальний інтервал часу руху транспортного засобу по магістралі, максимальну кількість транспортних засобів, що можуть одночасно знаходитися на трасі та інші параметри необхідні для вирішення конкретного завдання у транспортно-логістичній системі постачань швидкопсувних харчових продуктів. Крім того, вона забезпечує найкращу комбінацію ціна-час-відстань для ефективної роботи ланцюга постачань швидкопсувних харчових продуктів.

Ключові слова. Динамічне програмування, економіко-математична модель, ефективність, імітаційне моделювання, транспортно-логістична система, оптимізація, транспортний процес, швидкопсувні харчові продукти.

---

1. Вступ

Проблема втрат харчових продуктів на всіх етапах транспортно-логістичного ланцюга притаманна більшості економік світу і вирішувати її потрібно як на національному рівні для підвищення ефективності аграрного сектору економіки та добробуту населення країни, так і на міжнародному рівні для розв’язання складних проблем, пов'язаних з глобальною продовольчою безпекою та запобігання голоду. Сучасні глобальні ланцюги постачань харчових продуктів стикаються з різноманітністю соціальних проблем, які постійно поглиблюються. Їх наслідком є те, що, багато з них працюють в стані «нижче ідеального», в результаті чого приблизно одна третина харчових продуктів, вироблених для споживання людьми, втрачається.

Перевезення швидкопсувних продуктів харчування займає особливе становище в списку послуг із транспортування. Головна відмінність таких вантажів – це обмежений термін придатності, а також особливі кліматичні умови зберігання та транспортування, що пред'являються для забезпечення максимально тривалого терміну придатності харчових продуктів. Обмеження у вигляді терміну придатності товару накладають відбиток і на логістичні процеси – чим нижче термін придатності, тим частіше виробляється та перевозиться товар. Особливо це стосується швидкопсувних вантажів, прискорення термінів постачання яких безпосередньо впливає на їх збереженість та якість.

2. Аналіз літератури

Розглядаючи методи, способи та прийоми управління ланцюгами постачань швидкопсувних харчових продуктів слід зазначити, що одним із значимих показників, що впливає на якісні характеристики швидкопсувних харчових продуктів є час. Проблема оптимізації часу постачань швидкопсувних харчових продуктів частково розв’язується в дослідженнях А. Альвареса, Ж-Ф. Кордо, Р. Янса, П. Мунарі, Р. Морабіто [1]; Х. Вана, Х. Сунь, Дж. Донга, М. Вана,

Дж. Руана [2], О.Загурського [3;4], Т. Покуси, С. Загурської, М. Огієнко, Л. Тітової, І. Роговського,А. Огієнко, К Розумової, Л. Березової [4]; М. Каранам, Л. Крішнананда, В. Манупаті, К. Антоша, Дж. Мачадо [6]; Н. Ндраха, Х. Сяо, Дж. Влаїч, М. Ян, В. Хонг-Тін; Л. Сонг, З. Ву [7]; З. Рафі-Майда [8]; Ю. Чжан, І. Чжао, Ч. К'ян [9] та низки інших. Проте, не зважаючи на значні напрацювання не обхідно визначити, що комплексний підхід до побудови ефективного транспортно-логістичного процесу в ланцюгах постачань швидкопсувних харчових продуктів потребує розширення та удосконалення.

3. Постановка задачі

З точки зору збереження якості швидкопсувних харчових продуктів однією з важливих транспортних концепцій є «маршрутизація та планування транспортного засобу (VRSP)», тобто пошук найбільш оптимальних маршрутів та транспортних засобів для перевезення цієї групи вантажів. Але як зазначають Spliet R.Gabor A., Dekker R. концепція VRSP– це не тільки пошук найбільш оптимальних маршрутів – це більшою мірою пошук нового розкладу руху для групи транспортних засобі, яка не лише мінімізує загальні транспортні витрати по ланцюгу постачань, а також мінімізує витрати на відхилення від вихідного транспортного розкладу [10].

За неї процес оптимізації ланцюгів постачань може бути представлений, як знаходження найкращого варіанту функціонування транспортно-логістичної системи з безлічі можливих за наявних ресурсів. І щоб процес оптимізації транспортно-логістичної системи постачань швидкопсувних харчових продуктів відбувся, необхідно чітко розуміти, чого і як слід досягти в кінцевому результаті. Адже така оптимізація може допомогти зменшити загальні транспортні витрати приблизно на 2,7% [11]. Тобто має бути задана «ідеальна» модель, що колись уже була створена та апробована в управлінні іншими транспортно-логістичними системами (методика використання кращої практики) або спроектована в «лабораторних» умовах, до досягнення параметрів якої необхідно прагнути. Така «ідеальна» модель транспортно-логістичної системи швидкопсувних харчових продуктів передбачає наявність єдиної інформаційної системи, що здійснює управління замовленнями в розрахунку на те, що:

– час циклу виконання замовлення має бути мінімальним за відхиленнями від заявлених замовником термінів (в ідеальному варіанті нульовим);

– кількість запасів в транспортно-логістичній системі має бути мінімальною (в ідеальному варіанті нульовою);

– вплив людського фактора має бути мінімальним;

– застосування екологічно-ефективних технологій перевезення має бути максимальним.

В залежності від бажаних результатів, кожна оптимізація має свої окремі цілі. В наведеному на рисунку 1 прикладі транспортний процес оптимізований таким

чином, щоб відбувся симбіоз ефективно-економічного та екологічного перевезення продукції.

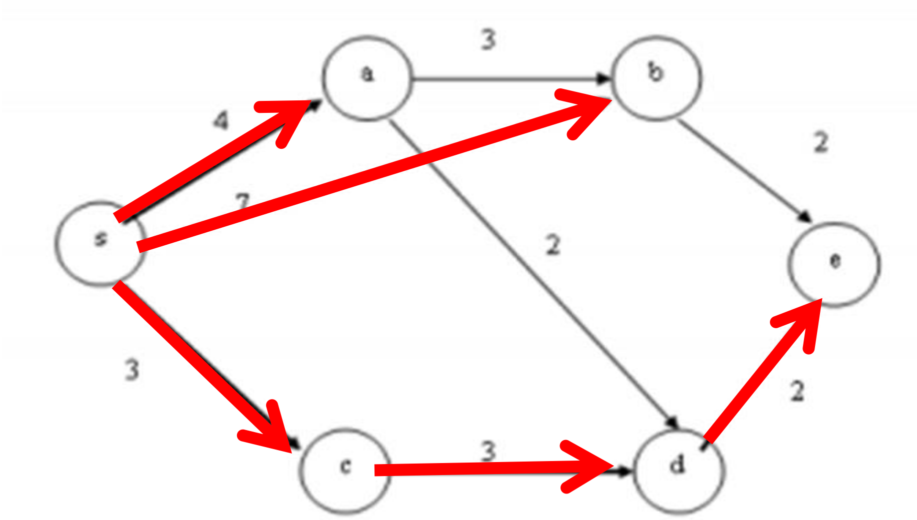


Рис. 1 Оптимізований графік постачань товарів

Варто зазначити, що найкоротший шлях є єдиним тільки у тому випадку, якщо в алгоритмі жодного разу не виникає неоднозначності у виборі дуг. В даному прикладі така неоднозначність виникла і відповідно є альтернативне рішення:

$$(s,e)= \{(s,a),(a,d),(d,e)\} \qquad (1)$$

Тобто повністю втілити «ідеальну» модель досить складно, адже у більшості випадків в ній не можуть бути враховані всі реальні, причому постійно мінливі, параметри зовнішнього та внутрішнього ділового середовища. Тому для того щоб максимально наблизитися до параметрів бажаної «ідеальної» моделі транспортно-логістичної системи, необхідно вміти швидко та ефективно відповідати на все більш складні запити споживачів, але при цьому не втрачати ідею втілення цілей збалансування економічної ефективності та якості транспортування. Досягненню цієї мети можуть сприяти наступні технології:

– консолідацію вантажів, особливо за транспортування вантажів дрібними партіями («Less-Than-Truckload» (LTL);

– виключення з транспортної системи проміжних пунктів перевалки;

– маршрутизацію, що пов'язана з розрахунком часу знаходження транспорту в дорозі, для уникнення пробок і заторів.

3.1 Консолідація, за транспортування вантажів дрібними партіями («Less-Than-Truckload» (LTL).

За такої технології невеликі вантажі поєднуються з більшими, щоб досягти ефективності масштабу для транспортування на великі відстані. Недоліком

такого транспортування є те, що для консолідації вантажів потрібен час, а це означає, що важче спланувати такі операції вчасно в сенсі наявності необхідного обладнання та транспортних засобів. Але, що не менш важливо окрім вибору обладнання, існує також стратегічний вибір часу постачання швидкопсувного товару, тут найшвидший вибір досягається за рахунок більш швидкого транспорту (наприклад, повітряного, а не автомобільного) та зменшення можливостей консолідації (тобто очікування іншого вантажу). Насправді, найшвидший вид постачання – це один кур'єр, що супроводжує унікальний вантаж, але він також є найдорожчим, тому навряд чи (за винятком окремих найбільш дорогих харчових продуктів – ікра, морепродукти, труфеля, фуа-гра тощо) такий спосіб постачань матиме широке застосування для даної категорії вантажів.

Експрес-перевізники також спеціалізуються на надійному (гарантованому) транспортному часі. Гарантований термін постачання може бути досягнутий лише шляхом виконання запланованих робіт за встановленим графіком. У рамках експрес-бізнесу існує різниця між постачаннями «бізнес для бізнесу» B2B та «бізнес для клієнта» B2C. Останні, є більш складнішими, особливо у фазі постачань «останньої милі», яка, по суті, є більш витратною, оскільки клієнтів може не бути вдома, а адресу може бути важче знайти. T. Kull, K. Boyer [12] досліджуючи постачання останньої милі – тієї частині ланцюга постачань, яка безпосередньо постачає продукцію кінцевому клієнту – пропонують застосовувати консолідаційні концепції для транспорту останньої милі. Наприклад, постачання пакетів у центрах міст (поштові відділення, роздрібні магазини тощо), де клієнти можуть забрати свій пакет за допомогою унікального пін-коду. Це дозволяє уникнути багаторазових спроб постачання, споживачам яких не має вдома і відповідно втрат продукту від перевищення терміну постачання. Натомість X. Cai, J. Chen, Y. Xiao, X. Xu, G. Yu для збереження якості швидкопсувних харчових продуктів радять на умовах аутсорсингу включати до складу ланцюга постачань 3PL постачальників. Підвищення ефективності такого ланцюга на думку авторів буде відбуватися через схему стимулювання до координації. У них схема постачань складається з двох контрактів, включаючи контракт на оформлення оптового ринку (WMC) між виробником та дистриб'ютором та контракт на розподіл оптової ціни та знижки (WDS) між виробником та постачальником 3PL. Запропоновані контракти можуть усунути два джерела «подвійної маргіналізації», які існують у трирівневому ланцюзі постачань і спонукати три сторони діяти скоординовано [13].

Проміжні транспортні концепції повертаються в міську логістику швидкопсувних вантажів, де вони мають ряд переваг. Перш за все через те, що для міського транспорту потрібні інші транспортні засоби (менші та менш забруднюючі, наприклад, електричні), ніж для магістрального транспорту, оскільки великі вантажівки більш витрато ефективні і разом з тим менш екологічні. Крім того, підвищення ефективності консолідації також може бути

досягнуто комбінуванням перевезень від різних постачальників до сусідніх магазинів.

3.2 Виключення з транспортної системи проміжних пунктів перевалки.

Концепцією, яка певною мірою суперечить попередній концепції консолідації вантажів, але за рахунок зменшення часу постачань суттєво впливає на збереження якості та безпечності швидкопсувних продуктів харчування, є концепція виключення з транспортної системи проміжних пунктів перевалки. Вона пов’язана із використання прямих постачань (маятникових маршрутів) проти комплексних постачань (кільцевих маршрутів), за яких декілька клієнтів обслуговується одним маршрутом.

Комплексні постачання, як правило, ефективніші у випадку невеликих замовлень клієнтів, що розташовані недалеко один від одного. Відвантаження можна комбінувати та збільшувати, а отже, можна використовувати більш ефективні транспортні одиниці. Це також створює певну неефективність, оскільки вантаж зазвичай подорожує довше, перш ніж дістатися до місця призначення. Планування прямих перевезень простіше, ніж непряме, оскільки в останньому графіки мають бути узгоджені, щоб забезпечити безперебійне сполучення.

3.3 Маршрутизація, що пов'язана з розрахунком часу знаходження транспорту в дорозі, для уникнення пробок і заторів.

Разом з тим проблема маршрутизації та планування транспортного засобу (VRSP) стосується не лише визначення маршрутів і графіків для парку транспортних засобів. Скорочення загальної відстані перевезень само по собі безперечно забезпечить вигоди через зменшення витрати палива та часу транспортування. Однак зв’язок між маршрутизацією і емісією транспортних засобів не такий однозначний. Наприклад, час, проведений в заторах транспортним засобом зробить істотний вплив на якість швидкопсувного вантажу. Тому як зазначає Л. Гурч «основою вирішення завдань з оптимізації транспортного процесу є розроблення логістичної концепції транспортно-експедиційного обслуговування, в основу якої покладено маршрутизацію перевезень» [14]. Вона полягає в тому, щоб визначити оптимальні (або субоптимальні – не гірші) рішення, за яких при незмінних (або близьких до них) витратах, максимально зберігати якість харчових продуктів, що перевозяться.

4. Основний матеріал дослідження

Враховуючи визначені концепції та методи побудуємо економіко-математичну модель маршрутизації транспортно-логістичної системи постачань швидкопсувних харчових продуктів за часом. Завдання побудови цієї моделі перевезень полягає в оптимальній маршрутизації парку транспортних засобів

фіксованої місткості для постачання консолідованих вантажів у певний період часу. Така оптимізація визначається пошуком рішення, яке мінімізує кількість використовуваних автомобілів і загальний час в дорозі. Час в дорозі розраховується, знаючи час відправки та точну оцінку середньої швидкості автомобіля та руху по визначеному маршруті (дузі). Мінімізуючи таким чином загальний час у дорозі, отримані рішення будуть направляти транспортні засоби на дороги, по яким вони можуть швидко пересуватися замість того, щоб стояти у заторах.

Це завдання може бути розв’язане за допомогою побудови ефективних маршрутів у транспортно-логістичній системі. Згідно з принципом сформульованим Вардропом [15] будь яка транспортна система з плином часу приходить до рівноважного стану, а час пересування за усіма обраними маршрутами однаковий для усіх учасників руху та менше часу який витратить будь який учасник руху змінивши свій маршрут. Відповідно в кожній транспортно-логістичній системі незалежно від інших приймається рішення щодо маршруту який обирається з метою зменшення витрат на транспортування. Розподілення потоку по мережі, що задовольняє цьому принципу називається, конкурентною рівновагою. Шукана рівновага досягається тоді, коли жодна з конкуруючих транспортно-логістичних систем не може зменшити свої витрати на переміщення товарів.

Зручним апаратом для побудови моделей транспортно-логістичних систем, є теорія графів, яка дозволяє використовувати сучасні методики при постановці завдань оптимізації процесів їх функціонування та розвитку. Однак у процесі складання мережевих графічних моделей може виникнути ситуація, коли вихідний граф моделі з максимальним рівнем деталізації вершин і ребер, виявляється дуже громіздким та описується великою матрицею.

Тому, нами при побудові економіко-математичної моделі маршрутизації транспортно-логістичній системі за часом буде виділено підмножини вершин і ребер, які досить тісно пов'язані між собою та мають обмежене число зв'язків з іншими підмножинами.

Виходячи з цього представимо транспортну мережу у вигляді орієнтованого графа (рис. 2)

$$G=(V;E) \tag{2}$$

де: V – безліч послідовно пронумерованих вузлів графу;

E – безліч послідовно пронумерованих дуг графу

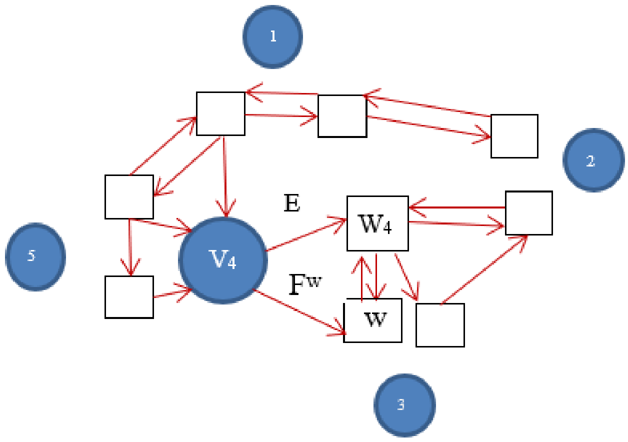


Рис. 2 Орієнтований графік G транспортної мережі

Позначимо через W безліч пар районів відправлення/прибуття вантажу. Тоді R^w безліч маршрутів між парою w; x_e – транспортний потік по дузі $e \epsilon E$; $t_e(x_e)$ – час просування по дузі $e \epsilon E$. Транспортний потік за маршрутом $r \epsilon R^w$ позначимо через $\int_r^w$, а скупний транспортний попит між w ϵ $W - F^w$.

Водимо булеву функцію яка покаже чи належить ребро e маршруту $r \epsilon R^w$

$$\delta_{e.r}^{w} = \begin{cases} 1, & \text{якщо дуга е входить до маршруту } R^w \\ 0, & \text{якщо ні.} \end{cases} \tag{3}$$

Математична формалізація першого принципу Вардропа можлива у вигляді задачі мімізації з обмеженнями

$$\sum_{r \in R^w} \oint_r^w = F^w, \ \ \forall_w \in W, \tag{4}$$

$$\oint_r^w \geq 0, \ \ \forall_\kappa \in R^w, \ \ w \in W, \tag{5}$$

за

$$x_e = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R^w} \oint_r^w \delta_{e,r}^w, \ \ \forall_e \in E. \tag{6}$$

Цільова функція, що відповідає конкурентній рівновазі на мережі, має наступний вигляд.

$$\min_x \sum_{e \in E} \int_0^{x_e} t_e(u)du, \tag{7}$$

де: $t_e(x_e)$ – функція затримки потоку об’єму x_e на ребрі $e \epsilon E$. В якості функції затримки виберемо BPR-функцію.

$$t_e(x_e) = t_e^0(1+\alpha_e(\frac{x_e}{c_e})^{\beta_e}), \tag{8}$$

де: t_e^0 – час вільного руху по ребру *e;*

$c_{e\,-}$ пропускна здатність ребра *e.*

Задача мімізації за обмежень 3.5, 3.6 має вигляд:

$$T(\oint\ ) = \min_x \sum_{t\in E} \int_0^{x_e} t_e^0(1+\alpha_e(\frac{u}{c_e})^{\beta_e})du. \tag{9}$$

Вирішуючи таку оптимізаційну задачу, отримуємо вектор *x* розподілення транспортних потоків по ребрам орієнтованого графа *G*. За допомогою заданих на ребрах графа функцій затримки можна вирахувати час руху по будь якому з ребер *e ϵ E*. Далі застосовуємо алгоритм Дейкстри [16] за допомогою якого знаходимо найкоротші шляхи від одної вершини графа до усіх інших.

Основною ціллю такої оптимізації є знаходження маршрутного плану для машин (тобто безліч маршрутів для кожного транспортного засобу задіяного у ланцюзі постачань), який задовольняє вимоги та попит клієнтів і не порушує накладених на змінні обмежень. При цьому загальний час знаходження усіх машин у дорозі має бути мінімальним. Далі проведемо маршрутизацію транспортно-логістичної системи, що пов'язана з розрахунком часу знаходження транспорту в дорозі, для уникнення пробок і заторів.

Для комплексного вирішення цієї задачі, як правило використовується підхід побудований на основі методів динамічного програмування та імітаційного моделювання. На графі (рисунок 3) вершини (позначені колами) представляють об'єкти (мікрорайони міста) в які будуть постачання швидкопсувні харчові продукти.

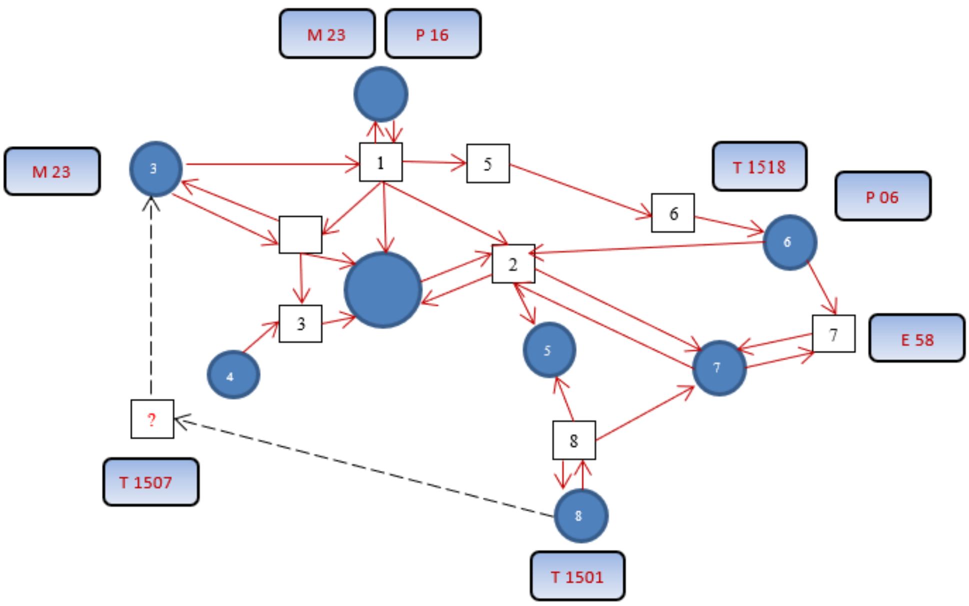


Рис. 3 Приклад графу транспортної мережі міста

Вони мають внутрішню структуру, досить тісно пов'язані між собою та мають обмежене число зв'язків з іншими. Параметри цих об'єктів визначають рівень автомобільного трафіку між ними й відповідно транспортне навантаження на магістралях. Кожен такий об’єкт, має свою систему входів і виходів, причому сумарний вхідний трафік не дорівнює вихідному.

Другий тип вершин, позначений квадратами, задає функцію управління та маршрутизацію трафіку. Червоними суцільними лініями позначені наявні транспортні зв’язки, а чорними пунктирними ті, які пропонується налагодити для зменшення навантаження на центр міста. Підсумок трафіку за усіма входам і виходам таких вершин, за певний проміжок часу – T (період управління), має дорівнювати нулю.

Кожна така вершина задається функцією управління, яка в ідеальному варіанті, періодична в часі, проте в загальному випадку період управління може бути дискретною функцією часу. Топологія задається матрицею зв’язаності системи.

$$K = \sum_{i=1}^{n} m_i + M \tag{10}$$

де: n – кількість кластерних вершин;

m_i – ступінь вершини;

M – число маршрутизуючих вузлів

У розглянутій моделі, ребрами графа є ділянки (перегони) доріг (вулиць) міського, районного чи обласного значення, що не містять перехресть, світлофорів та в’їздів і виїздів. Передбачається, що рух на даних ділянках обмежується тільки властивостями вершин, які з’єднуються даними ребром і параметрами магістралі.

Тобто будемо вважати, що вагові параметри ребер на даному інтервалі не змінюються. Нехай далі, вектор $\vec{R}_{ij}$ набір незалежних параметрів магістралі між вершинами (i,j). Під системою незалежних параметрів будемо розуміти набір таких характеристик ребра, які не можуть бути виражені через інші. Таким чином, стосовно до графу (рисунок 3), компонентами вектора $\vec{R}_{ij}$ буде набір матриць, розмірність яких визначається розмірністю матриці пов'язаності. Тоді для опису транспортно-розподіленої системи міста даний вектор може бути представлений в наступному вигляді:

$$R_{ij} = R(L_{ij}, P_{ij}, V_{ij}) \tag{11}$$

де: L_{ij} – матриця довжин ділянок (перегонів) між вершинами (i,j);

P_{ij} – матриця, що характеризує пропускну спроможність магістралі від вершини i до вершини j;

V_{ij} – матриця швидкісних обмежень на заданій ділянці дороги.

Ці параметри є базовими для даної моделі в тому сенсі, що їх можна вважати постійними за значного інтервалу часу. З їх допомогою можуть бути розраховані граничні характеристики для складання матриць обмежень. Так, наприклад, мінімальний інтервал часу руху транспортного засобу по магістралі (*i*,*j*) може бути обчислений за формулою:

$$t_{ij} = L_{ij} / V_{ij} \tag{12}$$

Також визначені параметри допоможуть у виборі виробників, що забезпечують найкращу комбінацію ціна-час-відстань для закупівлі. Якщо далі введемо параметри заповнення дороги транспортними засобами зможемо розрахувати максимальну кількість транспортних засобів, що можуть одночасно знаходитися на трасі. Для цього припустимо, що $l_k, k = 1,...,r$ набір габаритів транспортних засобів, які здійснюють рух в населеному пункті. А r_{ij}^k – ймовірність того, що якийсь транспортний засіб, який рухається в напрямку (*i*,*j*), має габарити l_k. Тоді середньостатистична довжина транспортного засобу з урахуванням інтервалу руху Δ, на напрямку (*i*,*j*) може бути обчислена за формулою:

$$\bar{l}_{ij} = \frac{1}{r}\sum_{k=1}^{r} r_{ij}^k l_k + \Delta \tag{13}$$

Відповідно, максимальна кількість транспортних засобів, які можуть перебувати одночасно на магістралі (*i*,*j*)

$$g_{ij} = L_{ij} P_{ij} / \bar{l}_{ij} \tag{14}$$

Аналогічно можна ввести безліч інших параметрів необхідних для вирішення конкретного завдання у транспортно-логістичній системі постачань швидкопсувних харчових продуктів.

5. Висновки

З точки зору збереження якості швидкопсувних харчових продуктів однією з важливих транспортних концепцій є «маршрутизація та планування транспортного засобу (VRSP)». За нею відбувається пошук найбільш оптимальних маршрутів та транспортних засобів для перевезення цієї групи вантажів. Основною ціллю такої оптимізації є знаходження маршрутного плану для машин, який задовольняє вимоги та попит клієнтів і не порушує накладених

на змінні обмежень. При цьому загальний час знаходження усіх машин у дорозі має бути мінімальним.

Для комплексного вирішення цієї задачі в роботі використано підхід побудований на основі методів динамічного програмування та імітаційного моделювання. Розроблена на його основі економіко-математична модель дає змогу, задля уникнення пробок і заторів під час руху, визначати час знаходження транспорту в дорозі, мінімальний інтервал часу руху транспортного засобу по магістралі, максимальну кількість транспортних засобів, що можуть одночасно знаходитися на трасі та інші параметри необхідні для вирішення конкретного завдання у транспортно-логістичній системі постачань швидкопсувних харчових продуктів. Крім того, вона забезпечує найкращу комбінацію ціна-час-відстань для ефективної роботи ланцюга постачань швидкопсувних харчових продуктів.

Список літератури

1) Alvarez A., Cordeau J-F., Jans R., Munari P., Morabito R. Internet-of-things enabled supply chain planning and coordination with big data services: Certain theoretic implications, Journal of Management Science and Engineering, Volume 5, Issue 1, 2020, 1-22.

2) Wang X., Sun X.,1 Dong J., Wang M., Ruan J. Optimizing terminal delivery of perishable products considering customer satisfaction. Mathematical Problems in Engineering. 2017. URL. http://downloads.hindawi.com/journals/mpe/2017/8696910.pdf

3) Zagurskiy O. M. Modeling of supply processes for perishable foodstuffs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 3, 53-61.

4) Zagurskyi O., Pokusa T., Zagurska S., Ohiienko M., Titova L., Rogovskii I. Ohiienko A., Razumova K., Berezova L. Current trends in development of transport and logistics systems of delivery of fast perishable foodstuffs. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2021, 238

5) Karanam M., Krishnanand L., Manupati V.K., Antosz K., Machado J. Identification of the Critical Enablers for Perishable Food Supply Chain Using Deterministic Assessment Models. Appl. Sci. 2022, 12, 4503. https://doi.org/10.3390/app12094503

6) Ndraha N., Hsiao H., Vlajic J., Yang M., Hong-Ting Victor Lin Time-temperature abuse in the food cold chain: Review of issues, challenges, and recommendations, Food Control, 2018Vol. 89, 12-21.

7) Song L., Wu Z. An integrated approach for optimizing location-inventory and location-inventory-routing problem for perishable products, International Journal of Transportation Science and Technology, 2022, https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2022.02.002.

8) Rafie-Majd Z. Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty: Lagrangian relaxation algorithm, 2018 URL: https://proxy.library.spbu.ru:2069/

9) Zhang Y., Zhao L., Qian C. Modeling of an IoT-enabled supply chain for perishable food with two-echelon supply hubs. Industrial Management & Data Systems, 2017.Vol. 117, Issue 9. URL. https://proxy.library.spbu.ru:2156

10) Spliet R.Gabor A., Dekker R. The vehicle rescheduling problem, Computers & Operations Research, Volume 43, 2014, 129-136.

11) Marques A., Soares R., Santos M. J.? Amorim P. Integrated planning of inbound and outbound logistics with a Rich Vehicle Routing Problem with backhauls, Omega, 2020. vol. 92(C). URL. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048319300350

12) Kull, T.J., Boyer, K. Last-mile supply chain efficiency: an analysis of learning curves in online ordering. International Journal of Operations & Production Management 2007, 27, 409.

13) Xiaoqiang Cai, Jian Chen, Yongbo Xiao, Xiaolin Xu, Gang Yu, Fresh-product supply chain management with logistics outsourcing, Omega, Volume 41, Issue 4, 2013, 752-765

14) Гурч Л. М. Маршрутизація перевезень з використанням новітніх технологій. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Логістика. 2016. № 846. 48-53.

15) Wardrop J. G. Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1952. Part II, Volume I, 325-362.

16) Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs. Numer. Math .Springer-Verlag, 1959. Vol. 1, Iss. 1. 269-271.